

Análisis de la influencia de los marcos cuadrados en el crecimiento y la productividad final de este cultivo

Rediseño del marco de siembra en el cultivo de maíz forrajero

El marco de siembra tradicional del maíz forrajero está condicionado por el ancho de las ruedas del tractor, en el cual la separación entre filas de siembra es cinco veces la separación entre plantas, lo que genera una baja competencia con malas hierbas ya que el cultivo tarda mucho tiempo en cubrir completamente el suelo. Los nuevos prototipos de micro-máquinas que se están diseñando para los tratamientos herbicidas de post-emergencia en maíz facilitarían la modificación del marco de siembra. El objetivo de este ensayo ha sido comprobar la eficacia de nuevos marcos de siembra de maíz forrajero, habiéndose estudiado su respuesta en Madrid y Copenhague.

**A. Blas Morente^{1,2}, P. Barreiro Elorza²,
G. S. Dias Da Costa^{1,2}, H. Griepentrog³,
C.G. Hernández Díaz-Ambrona¹.**

¹ Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

² Physical Properties and Advanced Technology in Agrofood, Departamento de Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

³ Faculty of Life Sciences (LIFE), University of Copenhagen (KU), Dinamarca.



El maíz (*Zea mays* L.) es hoy en día el cultivo forrajero más importante para vacuno en Europa (Bertoia, 2010). Pero independientemente de los distintos climas, y por tanto manejos, en los que el maíz forrajero es cultivado, hay un factor bastante común: el marco de siembra. Dicho marco se basa en una separación entre líneas de cultivo de 70 a 80 cm, y entre plantas de 12 a 15 cm, para obtener densidades que varían entre 7 y 12 plantas por metro cuadrado (densidades mayores se alcanzan con los nuevos híbridos con formas más erectas). Pero, ¿es dicho marco el óptimo para el crecimiento y rendimiento final del maíz forrajero? Con marcos de siembra más cuadrados, Maddonni *et al.* (2001) han demostrado un incremento de la intercepción de la radiación solar, lo mismo que consi-

guieron Begna *et al.* (2001) con una reducción de la separación entre líneas. Se han obtenido resultados similares en otros factores como eficiencia de absorción de nutrientes por la planta (Cox y Cherney, 2001) o la absorción de agua del suelo (Mohammed y Gumbs, 1982). Los marcos cuadrados y con menos distancia entre líneas han demostrado una mayor eficiencia en la lucha contra las malas hierbas mediante competencia (Smith *et al.*, 2004; Acciaresi y Chidichimo, 2007), observándose también mejoras en el rendimiento y producción forrajera del cultivo (Bullok *et al.*, 1988; Barbieri *et al.*, 2008). Por lo que esos nuevos marcos pueden ser interesantes en una agricultura de bajos insumos y más respetuosa con el medio ambiente.

El objetivo de este estudio es demostrar si



Maquinaria adaptada para siembra del nuevo marco de siembra (32 x 32 cm) en el experimento de Copenhague.

un nuevo marco de plantación más cuadrado puede afectar positivamente al crecimiento y productividad final del cultivo de maíz forrajero.

Material y métodos

Durante la primavera-verano de 2010 se llevaron a cabo dos experimentos en campo con maíz forrajero en dos zonas climáticas bien diferenciadas: Madrid (España) y Copenhague (Dinamarca). El experimento de Madrid fue realizado en los Campos de Prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (40° 26' 31"N, 3° 44' 29" O, 594 msnm), y el de Copenhague en los Campos de Prácticas de la Faculty of Life Sciences de la University of Copenhagen (55° 40' 04"N, 12° 18' 25"E, 25 msnm).

En Madrid se establecieron dos marcos de siembra, un marco tradicional con las medidas de 75 cm entre líneas de cultivo y 15 cm entre plantas; y otro, el nuevo marco de siembra más cuadrado, colocando una nueva fila entre líneas, es decir, basándose en una separación entre líneas de 37,5 cm y entre plantas de 30 cm, siendo en ambos casos la densidad de siembra de 8,9 plantas/m². En Dinamarca el marco tradicional fue de 75 cm de separación entre líneas y 13 cm entre plantas, y el nuevo marco cuadrado fue de 32 cm entre líneas y 32 cm entre plantas, con una densidad de siembra de 10,3 plantas/m² y 9,8 plantas/m², respectivamente. Se dieron dos tratamientos en el manejo de herbicidas con mochila: aplicando el herbicida de forma tradicional (una aplicación en preemergencia y otra en post-emergencia del cultivo) y otro reduciendo el número de aplicaciones de herbicidas (una única aplicación de post-emergencia del cultivo en

Madrid y ninguna en Copenhague). Las características del itinerario tecnológico se presentan en el **cuadro I**. Para cada zona se habilitaron cuatro parcelas: marco tradicional con uso de herbicidas (T-herb), marco tradicional con reducción en el uso de herbicidas (T-mh), marco nuevo con uso de herbicidas (N-herb) y marco nuevo con reducción en el uso de herbicidas (N-mh).

En Copenhague la superficie total del ensayo fue de 1.224 m² (60 m de largo y 20,4 m de ancho). La variedad utilizada fue NK Bull, de Syngenta, ciclo FAO 200. Durante las nueve

En ambos casos la producción de biomasa de la parte aérea fue mayor en el nuevo marco.

Además, el nuevo marco mostró una mayor eficacia en el control de las malas hierbas por lo que podría reducirse el uso de herbicidas en su cultivo.

CUADRO I.

Itinerario tecnológico de labores en el cultivo de maíz forrajero realizado en los experimentos de campo de Copenhague y Madrid durante 2010.

Labor	Fecha	Maquinaria	Dosis	Características y descripción
Copenhague				
Siembra	4-mayo	Sembradora precisión	10,25 plantas/m ²	Todas las parcelas marco 75 cm x 13 cm Repicado manual para dejar 32 cm x 32 cm
Fertilización	26-mayo	Abonadora monograno	400 kg/ha	NPK 20-10-0
Fertilización	14-junio	Abonadora monograno	400 kg/ha	NPK S Mg 21-3-10-4-1
Herbicidas	15-junio	Pulverizador hidráulico	50 l/ha	Postemergencia: Foramsulfuron 300 + iodosulfuron 10 g, en T-herb y N-herb
Cosecha	06-octubre	Cosechadora de maíz Stanhay		
Madrid				
Siembra	12-mayo	Sembradora precisión	8,9 plantas/m ²	En marco tradicional 75 cm x 13 cm, y siembra manual en 37,5 cm x 26 cm
Fertilización	13-mayo	Manual	350 kg/ha	NPK 13-11-18
Riego	Semanal	Cobertura total	15 mm	Por aspersión, dos veces por semana hasta cosecha
Herbicidas	20-mayo 15-junio	Pulverizador de mochila	4 l /ha 60 g/ha	Preemergencia: Acetocloro 41% + Terbutilazina 19,5% en T-herb y N-herb Postemergencia: Rimsulfuron, en todas las parcelas
Cosecha	28-septiembre	Cosechadora maíz		

La selección de los marcos actuales de siembra es resultado del proceso de mecanización actual

que puede ser superado en un futuro a medio plazo si resulta viable la construcción de pequeñas máquinas autónomas inteligentes (robots), capaces de desplazarse por el cultivo en marcos más estrechos, aplicando estrategias de escarda selectiva más respetuosas con el medio ambiente

primeras semanas de cultivo, se recogieron en las cuatro parcelas datos semanales de temperatura de suelo (entre líneas y entre plantas), humedad (entre líneas y entre plantas),

altura de la planta, nivel de nutrientes, número de hojas por planta y número de malas hierbas por metro cuadrado, recogiendo tres muestras al azar en cada uno de los tratamientos. En la

cosecha se obtuvieron los datos correspondientes a la biomasa total de la parte aérea.

En Madrid la superficie total del ensayo fue de 450 m² (30 m de largo por 15 m de ancho). La variedad utilizada fue PR33Y74, de Pioneer, con ciclo FAO 600. Se tomaron datos de temperatura del aire, precipitación y radiación solar, se realizaron fotografías de la evolución de las plantas en cada parcela durante las primeras siete semanas, para un posterior análisis de imagen de evolución de cobertura vegetal mediante el programa Matlab 7.0 (Mathworks Inc). El 28 de septiembre se procedió a la cosecha y análisis de biomasa, altura, peso en grano y malas hierbas, tomado tres muestras aleatorias de 1 m² en cada uno de los tratamientos y recolectando diez plantas en cada uno de ellos.

Los resultados del rendimiento de biomasa seca de Madrid y Copenhague se sometieron al análisis de varianza Anova mediante el programa Statistica 6.0 (StatSoft Inc, Tulsa, EE.UU.).

Resultados y discusión

La producción de forraje fue mayor en los nuevos marcos de siembra. En Madrid el marco nuevo alcanzó una producción media de forraje de 26.010 kg de materia seca/ha, mientras el marco tradicional se quedó en 20.130 kg/ha, siendo el efecto marco de siembra, según el análisis Anova (**cuadro II**), significativo ($F= 11,7; p<0,01$). En Copenhague también el nuevo marco dio más producción, 13.804 kg/ha frente a 11.774 kg/ha del tradicional ($F= 6,8; p<0,05$).

El tratamiento con aplicación de herbicidas en Madrid alcanzó una producción media de 26.033 kg/ha mientras el tratamiento con reducción de herbicidas fue de 20.107 kg/ha ($F= 11,9; p<0,01$). En Copenhague el tratamiento con herbicidas dio una producción de 15.688 kg/ha y la producción en el tratamiento sin aplicar herbicidas fue de 9.890 kg/ha ($F= 55,7; p<0,01$).

En Copenhague el tratamiento que alcanzó el mayor rendimiento de biomasa seca por hectárea se corresponde con el ensayo del nuevo marco de plantación con aplicación de herbicidas (N-herb= 16.023 kg/ha), mientras que el menor valor obtenido corresponde al marco tradicional sin uso de herbicidas (T-mh= 8.195 kg/ha) duplicándose la diferencia entre

FIGURA 1

Producción de biomasa total de la parte aérea del maíz en materia seca (kg/ha) en Madrid y Copenhague.

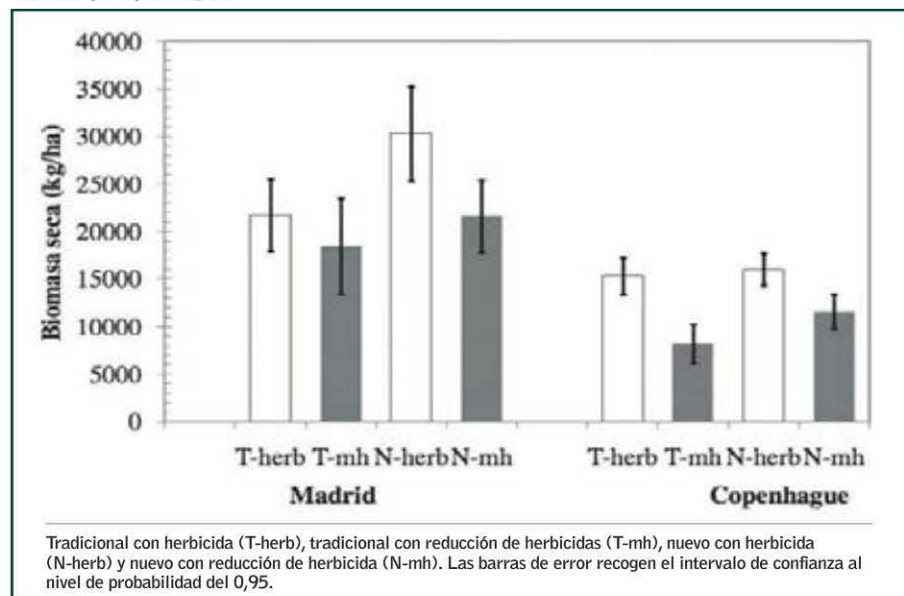
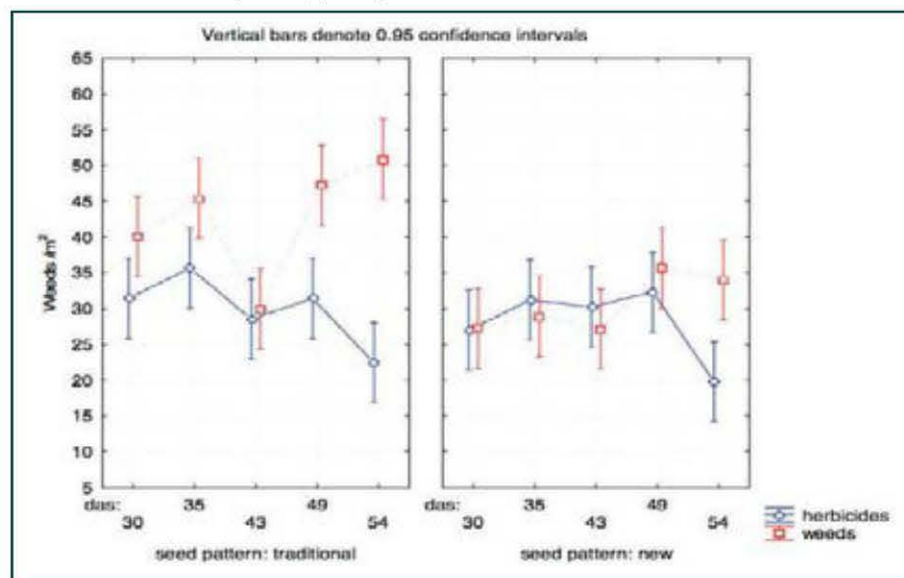


FIGURA 2

Infestación de malas hierbas (nº malas hierbas/m²) durante las primeras etapas de cultivo (30, 35, 43, 49 y 54 días después de siembra) en experimento de campo de Copenhague con marco tradicional y nuevo, y con y sin uso de herbicidas.



CUADRO II.

Resultados del análisis de varianza (Anova) para la producción de biomasa seca en maíz forrajera obtenida en Copenhague y Madrid durante 2010.

Componente	Copenhague		Madrid	
	F	p	F	p
Marco de siembra	6,8	*	11,7	**
Tratamiento herbicida	55,7	**	11,9	**
Marco x tratamiento	3,1	ns	2,9	ns

ns, no significativo; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

ambos (figura 1). Al igual que en Copenhague, el nuevo marco con aplicación de herbicidas logró el máximo rendimiento en Madrid (N-herb= 34.127 kg/ha), siendo una vez más el tradicional con reducción de herbicidas el que presentó peores resultados (T-mh= 20.845 kg/ha).

Los resultados de Copenhague mostraron un incremento del 41% de producción en materia seca de la biomasa aérea (kg/ha) en el marco nuevo respecto al tradicional cuando no se aplican herbicidas, y del 4% más cuando se emplean herbicidas. Sin embargo, en Madrid

hubo un 40% más de producción en el tratamiento del nuevo marco con herbicidas, y de un 17% en el tratamiento del nuevo marco con reducción en la aplicación de herbicidas.

Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Bullok *et al.* (1988), donde se obtuvo igualmente un incremento en biomasa del cultivo de maíz con marcos más cuadrados. También, coinciden con los mostrados por Barbieri *et al.* (2008) que presentó un significativo aumento en biomasa seca con marcos separados 35 cm respecto a los separados por 75 cm. En cambio se observan diferencias

con los resultados de Cox *et al.* (1998) donde el incremento del rendimiento en marcos cuadrados, con separación de 38 cm, fue sólo del 4% y con los de Beres *et al.* (2008), que no obtuvieron un cambio significativo al reducir la separación entre líneas de cultivo.

Respecto al control de malas hierbas, los resultados obtenidos en las primeras etapas de cultivo en el experimento de Copenhague (figura 2), indicaron que en los nuevos marcos se produjeron un 36% y un 33% menos de malas hierbas/m² con cuatro y ocho hojas por planta de maíz respectivamente en parcelas sin uso de herbicidas, y un 12% y 11% menos con cuatro y ocho hojas respectivamente con uso de herbicidas, en comparación con los marcos tradicionales rectangulares. Los análisis Anova demostraron que tanto el marco de siembra ($F = 30$; $p < 0,01$) como el tratamiento ($F = 36$; $p < 0,01$) fueron factores significativos.

En cuanto a la biomasa final de malas hierbas por hectárea, en los nuevos marcos se obtuvieron un 21% (568 kg/ha) y un 11% (277 kg/ha) menos de malas hierbas en los

www.agrotecnologia.net



Línea Nutricional

Inductores de autodefensas
Bioactivadores
Nutrición vegetal ecológica
Correctores y quelatos
Extractos húmicos
Correctores de pH y salinidad
Productos especiales
Fertilizantes foliares y fertirrigación

Línea Biocontrol

Fitofortificantes
Insectos beneficiosos
Feromonas
Productos especiales



*Soluciones eficaces y sin residuos
idóneas para las exigencias
de la cadena agroalimentaria.*

Polígono Industrial Puente Alto, Parcela 57
03300 Orihuela (Alicante)
Teléfono: +34 96 673 82 32
Fax: +34 96 530 21 15
info@agrotecnologia.net



grupo
agrotecnología[®]
naturalmente eficaz



Vista general de las cuatro parcelas, con los marcos tradicional y nuevo, del experimento en Madrid.



Experimento de control de malas hierbas por metro cuadrado en el nuevo marco de siembra en el experimento de Copenhague.

experimentos de Copenhague y Madrid respectivamente, en comparación con los marcos tradicionales.

La selección de los marcos actuales de siembra es resultado del proceso de mecanización actual que puede ser superado en un

futuro a medio plazo si resulta viable la construcción de pequeñas máquinas autónomas inteligentes (robots), capaces de desplazarse por el cultivo en marcos más estrechos, aplicando estrategias de escarda selectiva más respetuosas con el medio ambiente.

Conclusiones

Los resultados demuestran que los patrones de siembra más cuadrados favorecen significativamente la producción de biomasa aérea del cultivo de maíz forrajero en condiciones muy diversas, comparado con los marcos tradicionales rectangulares. Los experimentos de campo llevados a cabo simultáneamente en Madrid y Copenhague en 2010 muestran un claro incremento de biomasa aérea seca en maíz forrajero en los nuevos marcos. El uso de herbicidas resultó más necesario en el marco tradicional que en el nuevo, donde el maíz

compite en mejores condiciones con las malas hierbas, dado que afectan a condiciones micro-climáticas como temperatura y humedad del suelo a nivel de planta. Este aspecto será abordado en próximos estudios. ●

Agradecimientos

El programa de Erasmus ha facilitado la estancia de Alejandro Blas en la Faculty of Life Sciences de la University of Copenhagen para la realización de su trabajo fin de carrera (máster). Agradecimiento también al personal de campo que ha participado en este estudio y a las empresas Dupont Ibérica y Syngenta por facilitar el material. Proyecto de la Comunidad de Madrid AGRISOST S2009/AGR-1630.

Bibliografía ▼

- Acciaresi, H. A.; Chidichimo, H. O., 2007. Spatial pattern effect on corn (Zea mays) weeds competition in the humid Pampas of Argentina. *International Journal of Pest Management*, 53, 195-206.
- Barbieri, P.A.; Echeverría, H. E.; Saiz Rozas, H. R.; Andrade, F.H., 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal*, 100, 1094-1100.
- Begna, S. H.; Hamilton, R. I.; Dwyer, L. M.; Stewart, D. W.; Cloutier, D.; Assemet, L.; Foroutan-Pour, K.; Smith, D. L., 2001. Weed biomass production response to plant spacing and corn (Zea mays) hybrids differing in canopy architecture. *Weed Technology*, 15, 647-653.
- Beres, B.L.; Bremer, E.; Van Dassel, C., 2008. Response of irrigated corn silage to seeding rate and row spacing in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 713-716.
- Bertoia, L. M., 2010. Algunos conceptos para el cultivo de maíz para ensilaje. Biblioteca la gran comunidad lacteal, Infortambo, Buenos Aires (Argentina). Disponible en <http://www.infortambo.com.ar> verificado 14 mayo 2010.
- Bullock, D. G.; Nielsen, R. L.; Nyquist, W.E., 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Science*, 28, 254-258.
- Cox, W.J.; Cherney, D. Jr., 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agronomy Journal*, 93, 597-602.
- Cox, W.J.; Cherney, D. Jr.; Hancher, J.J., 1998. Row spacing, hybrid, and plant density effects on corn silage yield and quality. *Journal of Production Agriculture*, 11, 128-134.
- Maddonni, G.A.; Chelle, M.; Drouet, J.-L.; Andrieu, B., 2001. Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements. *Field Crops Research*, 70, 1-13.
- Mohammed, A.; Gumbs, F.A., 1982. The effect of plant spacing on water runoff, soil erosion and yield of maize (Zea mays L.) on a steep slope of an ultisol in Trinidad. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27, 481-488.
- Smith, C. W.; Betrán, J.; Runge, E.C.A., 2004. Corn: Origin, History, Technology, and Production. John Wiley & Sons, INC., Hoboken, New Jersey (EE.UU.).



Vista del nuevo marco de siembra con uso de herbicidas en Madrid.